

БЕЛАРУСЬ

А.Г. Аронов, Р.Р. Сероглазов, Т.И. Аронова

На территории Беларуси в 1998 г. наблюдения сейсмичности проводились на пяти сейсмических станциях: «Минск», «Нарочь», «Солигорск», «Гомель», «Брест». Геометрия расположения станций, по сравнению с таковой в [1], не изменилась, но в аппаратном оснащении трех из них произошли изменения. В рамках участия в международном проекте «NARS-DEEP» были получены цифровые станции «CSD-20», которые на станциях «Брест» и «Гомель» были установлены вместо аналоговой аппаратуры, а на обсерватории «Нарочь» – в качестве дополнительного комплекта аппаратуры. Параметры сейсмических станций по состоянию на 1998 г. даны в табл. 1.

Таблица 1. Сейсмические станции Беларуси, работавшие в 1998 г., и их параметры

| Станция | | Дата | | Координаты | | | Аппаратура | | | |
|----------------------|---------|------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------|---------------|------------|-----------|---------------------|
| Название | Код | открытия | закрытия | φ°, N | λ°, E | $h_y, м$ | Тип прибора | Компонента | V_{max} | $\Delta T_{max}, с$ |
| Минск (Плещеницы) | MIK | 03.01.1963 | | 54.50 | 27.88 | 196 | ССМ-СКМ | N, E, Z | 12000 | 1.1–1.5 |
| | | | | | | | ССМ-СКД | N, E, Z | 540 | 0.15–10.0 |
| Нарочь | NAR | 17.08.1979 | 30.09.1989 | 54.92 | 26.73 | 167 | СД СКМ | N, E, Z | 300 | 10.0–50 |
| | | | | | | | | N, E | 12800 | 1.0–1.4 |
| | | 01.10.1989 | 54.90 | 26.78 | 189 | ССМ-СКМ | Z | 13480 | 1.0–1.5 | |
| | | | | | | | N | 11000 | 0.75–1.0 | |
| | | | E | 12000 | 0.75–0.9 | | | | | |
| | | | Z | 13000 | 0.75–1.0 | | | | | |
| | | | ССМ-СКД | N | 1100 | 0.50–9.0 | | | | |
| | | | E | 1100 | 0.70–9.0 | | | | | |
| | | | Z | 1100 | 0.60–9.0 | | | | | |
| | | | ССМ-СД | N, E | 120 | 3.0–40 | | | | |
| Z | 130 | 3.0–40 | | | | | | | | |
| ССМ-КПЧ CSD-20 | N, E, Z | 100 | 0.60–9.0 цифровая | | | | | | | |
| Гомель | GML | 02.04.1982 | 01.02.1989 | 52.30 | 31.00 | 132 | СКМ | N, E | 14000 | 0.9–1.2 |
| | | | | | | | | Z | 17000 | 0.9–1.2 |
| | | 01.02.1989 | 31.12.1997 | 52.60 | 31.08 | 159 | СКМ | N, E | 14000 | 0.7–2.0 |
| | | | | | | | | Z | 17000 | 0.7–2.0 |
| 01.01.1998 | | | | | CSD-20 | | цифровая | | | |
| Солигорск | SOL | 01.01.1983 | | 52.75 | 27.78 | –436 | СКМ | N | 6000 | 0.6–1.3 |
| | | | | | | | | E | 4300 | 0.6–0.9 |
| | | 1998 | | 52.84 | 27.47 | | | Z | 7500 | 0.6–1.4 |
| Брест | BRT | 06.11.1991 | 31.12.1997 | 52.53 | 23.73 | 170 | СКМ CSD-20 | N, E, Z | 8000 | 0.5–1.2 цифровая |
| | | 01.01.1998 | | | | | | | | |

Примечание. CSD-20 – цифровая широкополосная сейсмическая станция: 0.01–10 Гц.

Общее число зарегистрированных данной сетью сейсмических событий в 1998 г. составило $N=87$ [2]. Карта их эпицентров представлена на рис. 1, из которой видна их четкая сгруппированность в двух местах Беларуси: в районе Старобинского месторождения калийных солей, вблизи сейсмической станции «Солигорск» ($N_1=78$), и на северо-востоке республики ($N_2=9$).

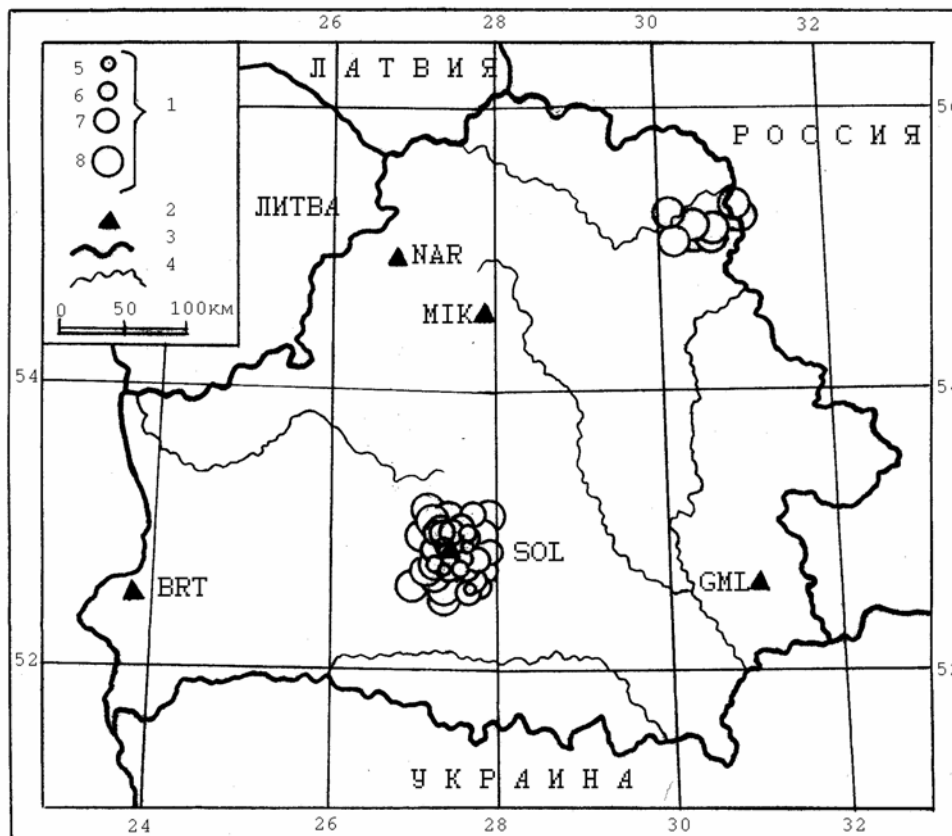


Рис. 1. Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных на территории Беларуси за 1998 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – сейсмическая станция; 3 – государственная граница; 4 – река.

Локализация первой группы событий произведена по одной станции «Солигорск» по двум параметрам: эпицентральному расстоянию и азимуту на эпицентр [1]. Эпицентральные расстояния определялись по разнице времен вступлений S - и P - волн с использованием регионального годографа А.Г. Аронова [3], рассчитанного по осредненному скоростному разрезу запада ВЕП [1]. Расчеты по определению азимутов на эпицентры проводились на основе использования полярности первых вступлений в соответствии с общепринятой в сейсмологической практике методикой. В [2] географические координаты приведены только для тех сейсмических событий, для которых удалось определить азимут. Определение энергетического класса проводилось по номограмме Т.Г. Раутиан [4]. Магнитуды, приведенные в каталоге [2], получены пересчетом из энергетических классов K_p по формуле Т.Г. Раутиан [5]:

$$K_p = 4 + 1.8 M.$$

Девять событий второй группы локализованы на основе данных международной сети (сейсмическая обсерватория Бергенского университета, сейсмическая группа NORSAR). Рассмотрим их более детально, сопоставляя разные решения гипоцентров (табл. 2). Для каждого из них в первой строке скопирована информация из каталога [2], а в последующих – из бюллетеней ISC [6–9] и Интернета [10,11].

Из табл. 2 следует, что разброс значений параметров помещенных в ней девяти событий значительный, что естественно из-за удаленности системы наблюдений. Но самое важное указание содержится в данных агентств BER и HEL, что все девять событий, скорее всего, промышленные взрывы, что, по-видимому, следует признать за достоверность, анализируя их времена в очаге: $10^{\text{h}}51^{\text{m}}$; $10^{\text{h}}08^{\text{m}}$; $09^{\text{h}}32^{\text{m}}$; $09^{\text{h}}55^{\text{m}}$; $09^{\text{h}}17^{\text{m}}$; $09^{\text{h}}08^{\text{m}}$; $09^{\text{h}}04^{\text{m}}$; $12^{\text{h}}32^{\text{m}}$; $09^{\text{h}}06^{\text{m}}$. Поэтому они исключены из дальнейшего количественного анализа сейсмичности Беларуси в 1998 г., тем самым ставится под сомнение проявление сейсмичности на северо-западе республики. Эпицентры сейсмических событий в районе Старобинского месторождения калийных солей, зарегист-

рированные одной сейсмической станцией «Солигорск», представлены на рис. 2 в более крупном масштабе. Как видим, часть эпицентров располагается вдоль зон тектонических нарушений, относящихся к Северо-Припятской сейсмогенной зоне [12]. Распределение числа событий по энергетическим классам и их суммарная энергия представлены в табл. 3.

Таблица 2. Сравнение решений девяти гипоцентров землетрясений по данным Беларуси (BEL) из [2] и других агентств (BER, NAO, HEL, ISC) из [6–11]

| № | Код агентства | Дата, д м | t_0 , ч мин с | | | δt_0 , с | Эпицентр | | h , км | K_p | $M = (K_p - 4/1.8)$ | Разброс значений | | | |
|---|--|-----------------------------|---|---|---|------------------|--|--|------------------|------------|---|------------------|------------------------|------------------------|------------|
| | | | | | | | φ°, N | λ°, E | | | | $\Delta t_0, c$ | $\Delta \varphi^\circ$ | $\Delta \lambda^\circ$ | ΔM |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | BEL BER _{ISC} * HEL _{SENE} | 26.02 n=4 n=4 | 10 51 08 10 51 03.8 10 51 11.6 | | | | 55.04 55.0 55.44 | 30.22 30.4 30.16 | 0 | 8.4 | 2.4 1.8/1 | 7.8 | 0.44 | 0.24 | 0.6 |
| 2 | BEL BER _{ISC} * BER _{ISC-int} NAO _{int} | 18.03 n=4 | 10 08 57 10 08 57.3 10 08 57.3 10 09 01.0 | | | | 55.09 55.1 55.085 55.25 | 30.75 30.8 30.752 30.99 | 0 0 | 8.0 | 2.2 2.22 | 4.0 | 0.16 | 0.22 | 0.02 |
| 3 | BEL BER _{ISC} * BER _{ISC-int} NAO _{int} | 23.03 n=3 | 09 32 28 09 32 28.3 09 32 28.3 09 32 30.0 | | | | 55.07 55.1 55.064 54.95 | 30.67 30.7 30.683 30.07 | 0 0 | 8.2 | 2.3 2.34 | 2.0 | 0.15 | 0.73 | 0.04 |
| 4 | BEL BER _{ISC} * BER _{ISC-int} NAO _{int} | 25.03 n=4 | 09 55 53 09 55 50.8 09 55 50.8 09 55 52.0 | | | | 55.15 55.1 55.102 55.25 | 30.45 30.7 30.657 30.99 | 0 0 | 8.0 | 2.2 2.62 | 2.2 | 0.15 | 0.54 | 0.42 |
| 5 | BEL HEL _{ISC} ** HEL _{SENE} ** BER _{ISC} * BER _{ISC-int} NAO | 13.04 n=9 n=9 | 09 17 20 09 17 19.3 09 17 19.3 09 17 15.6 09 17 19.3 09 17 25.0 | | | | 55.25 55.5 55.46 55.2 55.455 55.85 | 30.17 30.4 30.42 30.4 30.418 30.78 | 0 0 0 | 8.0 | 2.2 2.1 _L 2.1/4 1.77 | 9.4 | 0.65 | 0.61 | 0.43 |
| 6 | BEL BER _{ISC} * BER _{ISC-int} HEL _{ISC} ** HEL _{SENE} ** ISC NAO _{int} | 20.04 n=9 n=11 | 09 08 37 09 08 37.2 09 08 37.2 09 08 40.8 09 08 40.8 09 08 41 | | | | 55.10 55.1 55.099 55.6 55.63 55.6 ± 0.22 54.95 | 30.68 30.7 30.683 32.2 32.25 30.2 ± 0.29 30.07 | 0 0 0 0 | 8.2 | 2.3 2.2 _L 2.2/1 2.31 | 3.8 | 0.85 | 2.13 | 0.11 |
| 7 | BEL BER _{ISC} * BER _{ISC-int} NAO _{int} | 07.05 n=3 | 09 04 18 09 04 18.5 09 04 18.5 09 04 23.0 | | | | 55.04 55.0 55.041 55.25 | 30.51 30.5 30.504 30.60 | 0 0 | 8.4 | 2.4 2.49 | 5.0 | 0.25 | 0.1 | 0.09 |
| 8 | BEL BER _{ISC} * HEL _{ISC} ** HEL _{SENE} NAO _{int} | 19.06 n=9 n=9 | 12 32 46 12 32 44.1 12 32 46.8 12 32 46.8 12 32 46.0 | | | | 55.21 55.2 55.4 55.38 55.25 | 31.02 31.1 30.8 30.80 30.55 | 0 0 0 | 8.2 | 2.3 2.3 _L 2.3/2 2.24 | 2.7 | 0.2 | 0.55 | 0.06 |
| 9 | BEL NAO _{int} | 26.06 | 09 06 54 09 06 51.0 | | | | 55.28 55.25 | 30.98 31.12 | | 8.2 | 2.3 2.35 | 3.0 | 0.03 | 0.14 | 0.05 |

Примечание. В графе 2 знаками * и ** помечена природа события (возможно, взрыв и взрыв) по данным агентств BER и HEL соответственно; в этой же графе нижними индексами помечены данные из опубликованных бюллетеней ISC (_{ISC}), HEL (_{SENE}) и Интернета (_{int}); в графе 3 дано число станций n .

Таблица 3. Распределение числа толчков в районе Старобинского месторождения калийных солей по энергетическим классам K_p и их суммарная сейсмическая энергия ΣE

| K_p | 5 | 6 | 7 | 8 | N_Σ | $\Sigma E \cdot 10^9, Дж$ |
|-------|----|----|----|----|------------|---------------------------|
| N | 14 | 22 | 25 | 17 | 78 | 2.8734 |

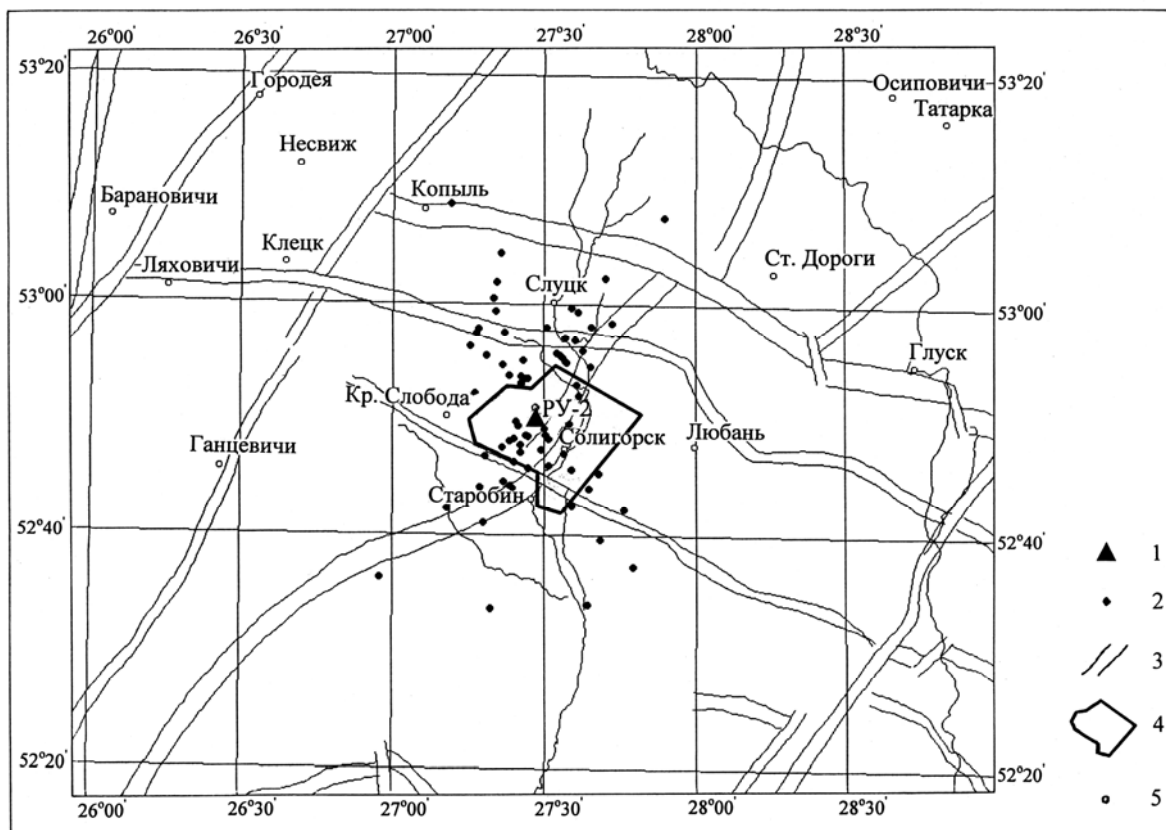


Рис. 2. Карта эпицентров сейсмических событий вблизи станции «Солигорск» за 1998 г.

1 – сейсмическая станция «Солигорск»; 2 – эпицентр; 3 – зона тектонических нарушений; 4 – район Старобинского месторождения калийных солей; 5 – населенный пункт.

Особо следует выделить толчок 16 марта в 04^h09^m с $K_p=7.5$ вблизи пос. Погост. Он был ошутим с интенсивностью сотрясений до 4–5 баллов. Наблюдалось дребезжание стекол, самопроизвольное открывание дверей, передвижение мебели, скрип полов, многие спящие проснулись. На стенах потрескалась штукатурка, имеющиеся трещины стали больше, кое-где оторвалась кафельная плитка. Радиус зоны сотрясений составил 1.5–2.0 км, что свидетельствует о приповерхностном залегании его очага. Через сутки, 17 марта в 04^h24^m, был зарегистрирован второй толчок, более слабый с $K_p=5.5$, который также вызвал сотрясения земной поверхности, но, естественно, меньшей интенсивности.

Если по данным табл. 3 попытаться построить график повторяемости, то его наклон γ окажется близким к нулю, что невозможно для совокупности тектонических землетрясений [13,14], для которых $\gamma \approx 0.3-0.6$, и поэтому числа тектонических землетрясений двух соседних классов разнятся в 2–4 раза, а в табл. 3 – в 1.57; 1.14 и 0.68 раза. Это говорит о том, что природа сейсмических событий в районе Старобинского месторождения калийных солей, скорее всего, не тектоническая в большей части случаев, а может быть связана с разработкой этого месторождения промышленным способом, хотя прямой зависимости числа зарегистрированных на станции «Солигорск» событий от объема добычи калийной руды нет, как это хорошо видно из рис. 3.

Статистический анализ теоретического вида распределения числа событий Беларуси. Как известно распределение повторяемости землетрясений близко к теоретическому распределению Пуассона [15], которое имеет вид:

$$p(N) = e^{-m} m^N / N!,$$

где $p(N)$ указывает вероятность иметь N событий в выбранном пространственно-временном объеме, среднее число событий для которого есть m . Распределение реальных событий в соответствии с законом Пуассона говорит о их взаимной независимости.

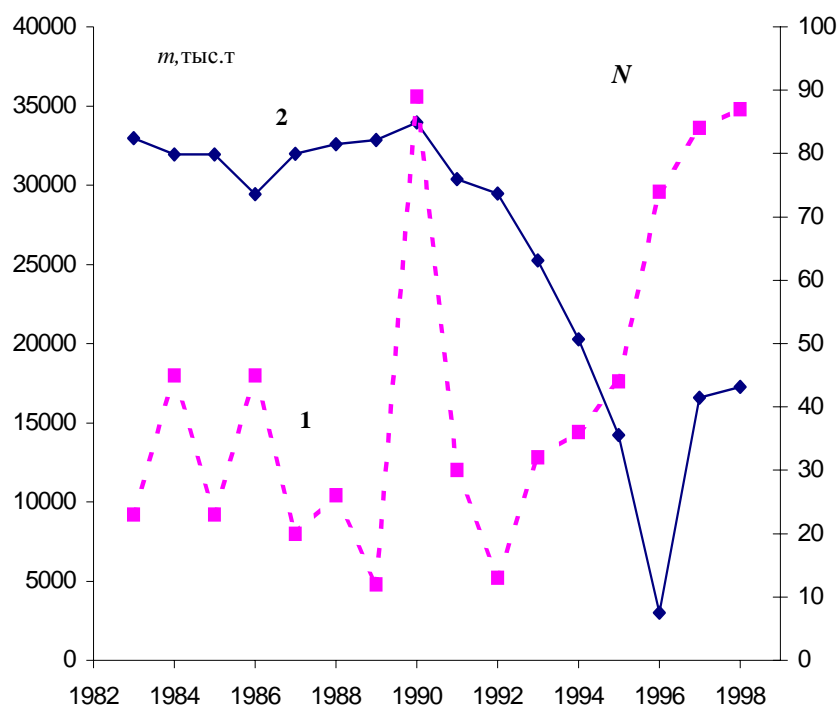


Рис. 3. Годовые значения числа сейсмических событий N (1) и объемов m добычи руды (2)

Рассмотрим экспериментальные распределения повторяемостей исследуемых сейсмических событий в совокупности (разных классов). В табл. 4а–4в приведены распределения повторяемостей событий в районе Старобинского месторождения по пятидневным, десятидневным и двадцатидневным интервалам.

Таблица 4а. Распределение числа сейсмических событий вблизи Солигорска по 5-дневным промежуткам и сравнение его с распределением Пуассона

| N | ν | p | np | $\nu - np$ | $(\nu - np)^2 / np$ |
|-------|-------|--------|-------|------------|---------------------|
| 0 | 34 | 0.3329 | 25.96 | 8.04 | 2.49 |
| 1 | 15 | 0.3661 | 28.55 | -13.55 | 6.43 |
| 2 | 11 | 0.2014 | 15.71 | -4.71 | 1.41 |
| 3 | 11 | 0.0734 | 5.72 | 5.28 | 4.87 |
| 4 | 2 | 0.0203 | 1.58 | 0.42 | 0.11 |
| Сумма | 73 | | | | $15.31 = \chi^2$ |

$m=78:73 \approx 1.1$, число степеней свободы $L=5-2=3$, при $\beta=5\%$ $\chi_0^2=7.81$, при $\beta=1\%$ $\chi_0^2=11.3$
 $\chi^2 > \chi_0^2$ даже при $\beta=1\%$, следовательно, закон Пуассона не выполняется.

Таблица 4б. Распределение числа сейсмических событий вблизи Солигорска по 10-дневным промежуткам и сравнение его с распределением Пуассона

| N | ν | p | np | $\nu - np$ | $(\nu - np)^2 / np$ |
|-------|-------|--------|-------|------------|---------------------|
| 0 | 9 | 0.1108 | 8.64 | -0.36 | 0.01 |
| 1 | 7 | 0.2438 | 19.02 | 12.02 | 7.60 |
| 2 | 6 | 0.2681 | 20.91 | 14.91 | 10.63 |
| 3 | 6 | 0.1966 | 15.33 | 9.33 | 5.68 |
| 4 | 5 | 0.1081 | 8.43 | 3.43 | 1.39 |
| 5 | 3 | 0.0476 | 3.71 | 0.71 | 0.13 |
| 6 | 1 | 0.0174 | 1.36 | -0.36 | 0.09 |
| Сумма | 37 | | | | $25.55 = \chi^2$ |

$m=78:37 \approx 2.2$, число степеней свободы $L=7-2=5$, при $\beta=5\%$ $\chi_0^2=11.1$, при $\beta=1\%$ $\chi_0^2=15.1$
 $\chi^2 > \chi_0^2$ даже при $\beta=1\%$, следовательно, закон Пуассона не выполняется.

Таблица 4в. Распределение числа сейсмических событий вблизи Солигорска по 20-дневным промежуткам и сравнение его с распределением Пуассона

| N | v | p | np | v-np | (v-np) ² /np |
|-------|----|--------|-------|--------|-------------------------|
| 0 | 2 | 0.0136 | 1.06 | 0.94 | 0.83 |
| 1 | 2 | 0.058 | 4.52 | -2.52 | 1.40 |
| 2 | 4 | 0.125 | 9.75 | -5.75 | 3.39 |
| 3 | 0 | 0.180 | 14.04 | -14.04 | 14.04 |
| 4 | 0 | 0.193 | 15.05 | -15.05 | 15.05 |
| 5 | 4 | 0.166 | 12.95 | -8.95 | 6.18 |
| 6 | 3 | 0.119 | 9.28 | -6.28 | 4.25 |
| 7 | 1 | 0.073 | 5.69 | -4.69 | 3.86 |
| 8 | 1 | 0.039 | 3.04 | -2.04 | 1.37 |
| 9 | 0 | 0.019 | 1.48 | -1.48 | 1.48 |
| 10 | 0 | 0.008 | 0.62 | -0.62 | 0.62 |
| 11 | 1 | 0.003 | 0.23 | 0.79 | 2.71 |
| Сумма | 18 | | | | 55.18= χ^2 |

$m=78:18\approx 4.3$, число степеней свободы $L=12-2=10$, при $\beta=5\%$ $\chi_0^2=18.3$, при $\beta=1\%$ $\chi_0^2=23.2$
 $\chi^2 > \chi_0^2$ даже при $\beta=1\%$, следовательно, закон Пуассона не выполняется.

Примечание. Теоретические значения вероятностей в табл. 4а–4в взяты из [16], а значения χ_0^2 в зависимости от числа степеней свободы – из [17].

Во всех трех случаях при 5% и даже при 1% уровнях значимости $\chi^2 > \chi_0^2$ и, следовательно, экспериментальное распределение отличается от теоретического, что хорошо видно также на графиках рис. 4. Отсюда следует вывод: исследуемая совокупность сейсмических землетрясений в районе Старобинского месторождения не является совокупностью независимых событий. Все это говорит о сложной природе регистрируемых толчков и необходимости специальных исследований для ее выяснения, что требует, в первую очередь, увеличения числа и плотности сейсмических станций в этом районе. Предположение о том, что это взрывы, следует отвергнуть, поскольку нет преимущественного времени их возникновения в течение суток (рис. 5).

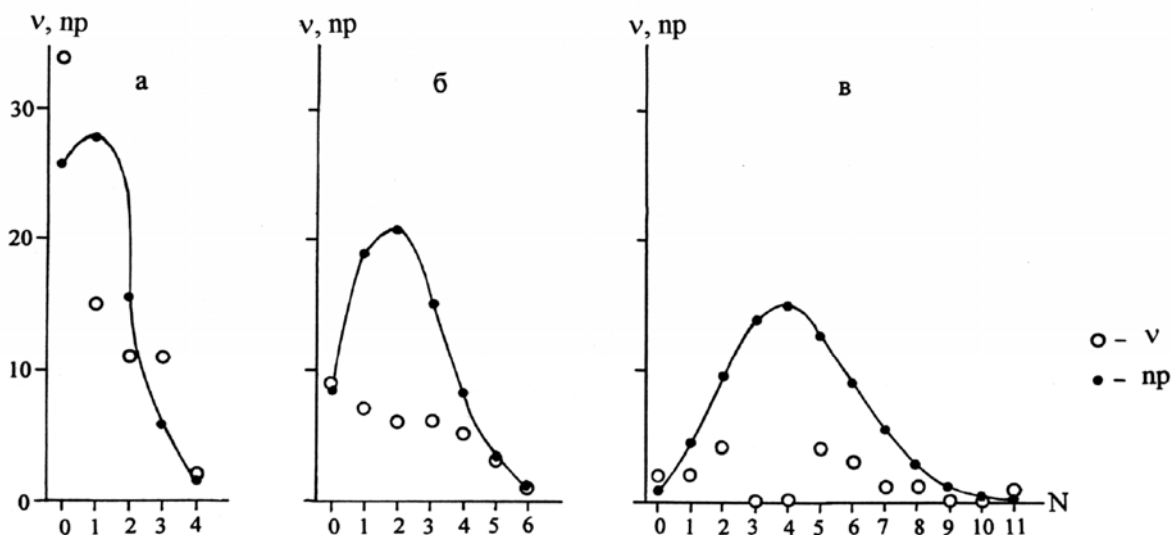


Рис. 4. Число интервалов длительностью 5(а), 10(б), 20(в) суток, в которые попали 0, 1, 2, ... N событий: наблюдаемые (v) и теоретические (np) по статистическому закону Пуассона $p(N) = e^{-m} m^N / N!$, где m – среднее значение числа событий в каждом из перечисленных интервалов ($m_1=1.1$; $m_2=2.2$; $m_3=4.3$ соответственно) для совокупности $n=78$ сейсмических событий, зарегистрированных в районе Старобинского месторождения калийных солей в Беларуси за 1998 г.

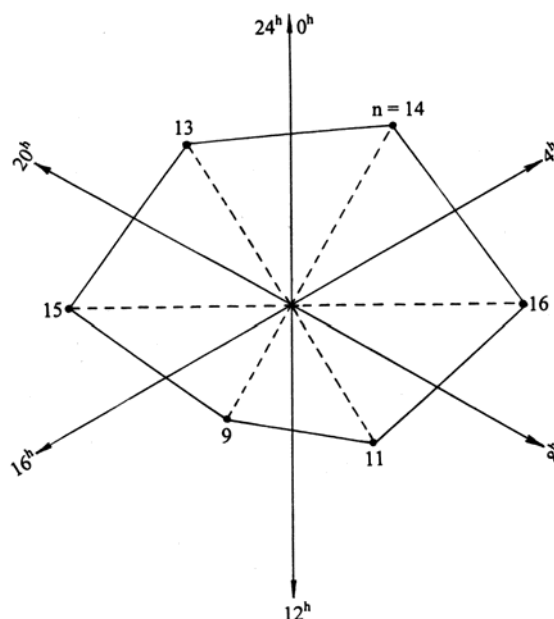


Рис. 5. Распределение числа событий по 4-часовым интервалам в течение суток за 1998 г.

Л и т е р а т у р а

1. **Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И.** Беларусь // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФООП, 2003. – С. 172–180.
2. **Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., Аронова Т.И (отв. сост.).** Беларусь (1887–1997 гг.) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФООП, 2003. – на CD.
3. **Аронов А.Г.** Региональные годографы сейсмических волн запада Восточно-Европейской платформы // Сейсмологический бюллетень. – Минск: ОКЖИОП, 1996. – С. 136–149.
4. **Раутиан Т.Г.** Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Тр. ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
5. **Раутиан Т.Г.** Энергия землетрясения // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: АН СССР, 1960. – С. 75–114.
6. BER – Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway.
7. NAO – NTNF/NORSAR, Kjeller, Norway
8. HEL – **Seismic Events in Northern Europe (for 1998)**. – Helsinki: University of Helsinki Institute of Seismology, 1998–1999.
9. ISC – **Bulletin of the International Seismological Centre (for 1998)**. – Berkshire: ISC, 2000.
10. http://neic.usgs.gov/neis/station_book/BER_NETWORK.html.
11. <http://www.isc.ac.uk/Cite/cite.html>.
12. **Айзберг Р.Е., Аронов А.Г., Гарецкий Р.Г., Карабанов А.К., Сафронов О.Н.** Сейсмотектоника Беларуси и Прибалтики // Литосфера. – 1997. – № 7. – С. 5–17.
13. **Ризниченко Ю.В.** Сейсмический режим Гармского района // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: АН СССР, 1960. – С. 221–238.
14. **Ризниченко Ю.В.** Сейсмический режим Сталинабадского района // Методы детального изучения сейсмичности (Тр. ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: АН СССР, 1960. – С. 239–246.
15. **Гайский В.Н.** Статистические исследования сейсмического режима. – М.: Наука, 1970. – 122 с.
16. **Большев Л.Н., Смирнов Н.В.** Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1965. – 464 с.
17. **Доерфель К.** Статистика в аналитической химии. – М.: Мир, 1969. – 247 с.